



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 19 681 A 1**

⑤1 Int. Cl. 7:  
**G 01 R 33/09**

②1 Aktenzeichen: 199 19 681.8  
②2 Anmeldetag: 30. 4. 1999  
④3 Offenlegungstag: 2. 11. 2000

DE 199 19 681 A 1

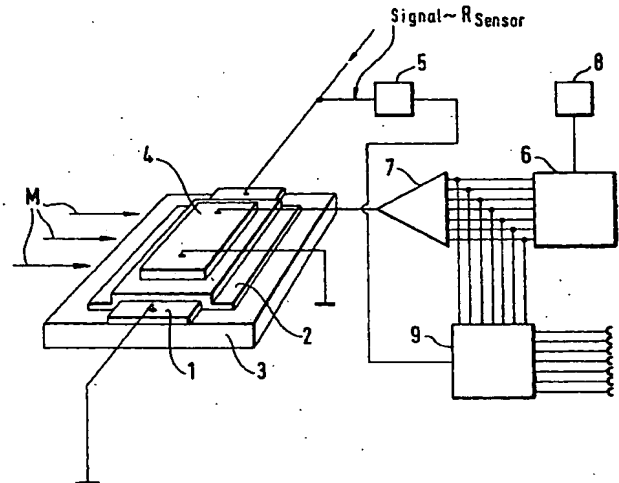
⑦1 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Grothe, Wolfgang, 75233 Tiefenbronn, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

⑤4 Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung von Betrag und/oder Richtung eines Magnetfeldes

- ⑤7 Verfahren zur Bestimmung von Betrag und/oder Richtung eines Magnetfeldes mit folgenden Schritten:
- Beaufschlagung wenigstens eines magnetoresistiven Sensors, insbesondere eines GMR-Sensorelements, mit einem zu bestimmenden ersten Magnetfeld,
  - Beaufschlagung des wenigstens einen magnetoresistiven Sensors mit einem zeitlich veränderlichen magnetischen Kompensationsfeld,
  - Bestimmung eines Zeitpunktes wenigstens eines Extremums eines von einem aus dem zu bestimmenden Magnetfeld und dem Kompensationsfeld zusammengesetzten magnetischen Gesamtfeld abhängigen Sensorsignals des magnetoresistiven Sensors, und
  - Bestimmung von Betrag und/oder Richtung des zu bestimmenden Magnetfeldes auf der Grundlage von Betrag und/oder Richtung des Kompensationsfeldes an dem wenigstens einen Zeitpunkt.



DE 199 19 681 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bestimmung von Betrag und/oder Richtung eines Magnetfeldes.

Anordnungen zur Durchführung einer berührungslosen Drehwinkelermessung sind beispielsweise aus der DE-OS 195 43 562 bekannt. Bei derartigen Anordnungen ist mit einer drehbaren Welle, deren Winkelstellung ermittelt werden soll, ein Magnet verbunden. Das Magnetfeld, das sich mit dem Drehwinkel der Welle ändert, wird mit Hilfe zweier Sensorelemente gemessen. Bei diesen Sensoren handelt es sich beispielsweise um zwei Hallsensorelemente, die gegeneinander um einen Winkel von 90° verdreht sind, oder zwei magnetoresistive Sensorelemente, die gegeneinander um 45° verdreht sind. Die Sensorelemente werden mit geeigneter Weise phasenverschobenen Wechselspannungssignalen versorgt. Die Überlagerung der Ausgangssignale der Sensorelemente ergibt einen Signalverlauf, der repräsentativ ist für die Winkelstellung.

Es ist ebenfalls bekannt, Magnetfeldsensoren zur Bestimmung von Magnetfeldern zu verwenden, deren Richtung statisch ist, deren Betrag sich jedoch mit der Zeit ändern kann. Als Sensoren sind neben den genannten Sensoren auch sogenannte GMR-Sensoren (englisch: giant magnetoresistance) bekannt, welche im Vergleich zu herkömmlichen AMR-Sensoren (englisch: anisotropic magnetoresistance) eine in Abhängigkeit eines Magnetfeldes größere Widerstandsänderung aufweisen. Die magnetfeldabhängige Widerstandsänderung derartiger GMR-Sensoren muß jedoch, da die erzeugten Sensorsignale betriebsspannungs- und temperaturabhängig sind, in der Regel in einer relativ aufwendigen Brückenschaltung ausgewertet werden. Die Anordnung derartiger GMR-Sensoren bzw. -Widerstände in einer Brückenschaltung ist, wie gesagt aufwendig, und läßt bei sinnvoller räumlicher Nähe der einzelnen Sensorelemente nur Gradientenmessungen des Magnetfeldes zu. Die magnetische Abschirmung zweier GMR-Widerstände in einer Brücke ist ebenfalls aufwendig, und bringt, im Falle von magnetisch leitenden Dünnschichten, Probleme mit der Sättigungsfeldstärke dieser Schichten mit sich, wobei hier jedoch absolute Feldmessungen möglich sind. Die Temperaturabhängigkeit der Sensorkennlinien ist nur im abgeglichenen Zustand der Brücke kompensiert, so daß (auch wegen der geringen Stärke des Sensorsignals) eine elektronische Auswerteschaltung notwendig ist.

Aufgabe der Erfindung ist eine möglichst einfache Bestimmung eines Betrages und/oder einer Richtung eines Magnetfeldes.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 sowie einer Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 10.

Erfindungsgemäß ist nun eine Bestimmung eines Betrages und/oder einer Richtung eines Magnetfeldes in einfacher Weise möglich. Durch die Bestimmung von Betrag und/oder Richtung eines Kompensationsfeldes, welches sich bezüglich seines Betrages und/oder seiner Richtung zeitlich ändert, zum Zeitpunkt eines Extremums des Widerstandssignals des Sensors, d. h. beispielsweise zum Zeitpunkt einer vollständigen Kompensation des zu bestimmenden Magnetfeldes (gegenseitige Aufhebung der Magnetfelder) kann vermieden werden, daß sowohl die absolute Größe des Sensorwiderstandes (welcher beispielsweise temperaturabhängig ist) als auch die absolute Größe des Sensoreffekts oder der Verlauf seiner Funktion bzw. Kennlinie einen Einfluß auf die Meßgenauigkeit ausübt. Wertet man ferner beispielsweise Hin- und Rücklauf des Kompensationsfeldes aus, kann auch eine Hysterese des Sensors kompensiert werden.

Da die zu messende Größe (Sensorwiderstand zum Zeitpunkt der vollständigen Aufhebung des magnetischen Gesamtfeldes) in eine Zeit transformiert wird, läßt sie sich durch Einsatz eines Zählers in einfacher Weise digital darstellen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der wenigstens eine Zeitpunkt eines Extremums des Widerstandssignals des magnetoresistiven Sensors mittels einer Feststellung eines Vorzeichenwechsels seiner zeitlichen Ableitung bestimmt. Differenzierglieder, welche einen Vorzeichenwechsel einer zeitlichen Ableitung feststellen können, sind in einfacher und preiswerter Weise verfügbar.

Zweckmäßigerweise wird zur Feststellung des Vorzeichenwechsels ein in Sättigung gesteuerter Differenzierer verwendet, dessen Ausgangssignal bei Feststellung eines Extremums des Widerstandes des magnetoresistiven Sensors von einem ersten Pegel auf einen zweiten Pegel springt. Hiermit ist der Zeitpunkt eines Vorzeichenwechsels der Ableitung des Widerstandssignals des magnetoresistiven Sensors in sehr genauer Weise bestimmbar.

Es ist gemäß einer besonders bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen, daß ein zur Erzeugung des Kompensationsfeldes verwendbarer Stromverlauf mittels eines Digitalzählers und eines mit diesem in Wirkverbindung stehenden Digital/Analog-Wandlers erzeugt wird. Derartige Komponenten sind in einfacher und preiswerter Weise verfügbar und erweisen sich in der Praxis als robust und zuverlässig.

Vorteilhafterweise wird das zu dem wenigstens einen Zeitpunkt anliegende Kompensationsfeld durch Feststellung des Zählerstandes des Digitalzählers zu diesem Zeitpunkt durchgeführt. Ein derartiger Zählerstand ist in einfacher und zuverlässiger Weise feststellbar und in einen Speicher einlesbar, wobei diese Information dann als Maß für die Größe des Kompensationsfeldes, und somit des diesem entgegengesetzt gerichteten zu bestimmenden Magnetfeldes zur Verfügung steht.

Es ist ferner möglich, das zu dem wenigstens einen Zeitpunkt anliegende Kompensationsfeld durch Feststellung der Fläche unter einer Rechteckspannung am Ausgang des Differenziergliedes durchzuführen. Eine derartige analoge Bestimmung des Kompensationsfeldes erweist sich für bestimmte Anforderungen als vorteilhaft.

Für den Fall, daß eine Bestimmung des Betrages eines Magnetfeldes bekannter Richtung durchgeführt werden soll, wird zweckmäßigerweise am Ort des magnetoresistiven Sensors ein dem zu bestimmenden Magnetfeld entgegengesetzt gerichtetes, zeitlich veränderliches Kompensationsfeld erzeugt. Dies kann beispielsweise mittels einer um den Sensor gewickelte Spule erfolgen oder mittels eines Leiters, der den Sensor, bezogen auf das zu bestimmende Feld, rechtwinklig kreuzt. Es ist ferner möglich, den Sensor derart auszubilden, daß durch ihn selbst das zu bestimmende Magnetfeld zu Null kompensierbar ist.

Soll eine Bestimmung einer Richtung eines Magnetfeldes bekannten Betrages erfolgen, wird zweckmäßigerweise am Ort des Sensors ein magnetisches Drehfeld erzeugt, dessen Betrag demjenigen des zu bestimmenden Magnetfeldes entspricht. In diesem Falle ist es also ausreichend, ein unmoduliertes magnetisches Drehfeld, welches beispielsweise in 180°-Abständen einen Wechsel der abgeleiteten Sensorfunktion hervorruft, zu erzeugen, dies unter der Voraussetzung, daß man sich in dem feldstärkeabhängigen Teil der Sensorkennlinie befindet und keine Kompensation des Ma-

netfeldes zu Null stattfindet. Es sei angemerkt, daß das magnetische Drehfeld bzw. Kompensationsfeld nicht notwendigerweise den gleichen Betrag wie das zu bestimmende Feld aufweisen muß, da auch bei betragsmäßig unterschiedlichen Feldern aus den auftretenden Sensorsignalextrima die gewünschten Informationen herleitbar sind.

Für den Fall, daß eine Bestimmung sowohl des Betrages als auch der Richtung eines Magnetfeldes erfolgen soll, ist es vorgesehen, am Ort des magnetoresistiven Sensors ein betragsmäßig modulierbares magnetisches Drehfeld zu erzeugen. Ein derartiges Magnetfeld ist beispielsweise mittels zweier rechtwinklig zueinander verlaufender Sinusströme erzeugbar. Der resultierende Vektor eines so erzeugten Magnetfeldes läuft also, beispielsweise im Falle einer schnellen Drehung und einer langsamen Modulation, anschaulich gesprochen auf einer Spirale von einem Nullpunkt bis zu einem Maximalwert. Das Auswertekriterium entspricht prinzipiell dem bereits beschriebenen, wobei sich der zu bestimmende Winkel aus den Augenblickswerten der Sinusströme (d. h. der Sinusströme zum Zeitpunkt der vollständigen Aufhebung des resultierenden magnetischen Gesamtfeldes) und das Feld aus dem Betrag ihrer Vektorsumme errechnet.

Die Erfindung wird nun anhand der beigefügten Zeichnungen weiter erläutert. In dieser zeigt:

Fig. 1 ein Schaltbild einer Anordnung zur Beaufschlagung eines GMR-Sensors mit einem magnetischen Kompensationsfeld,

Fig. 2 den typischen Verlauf eines Sensor-Widerstandssignals in Abhängigkeit von dem magnetischen Gesamtfeld,

Fig. 3 den Verlauf des Signals eines begrenzenden Differenziergliedes, welches das Signal gemäß Fig. 2 als Eingangssignal erhält,

Fig. 4 eine explodierte perspektivische Ansicht eines GMR-Sensorelements mit Stromleitern zur Erzeugung eines magnetischen Drehfeldes,

Fig. 5 den typischen Verlauf eines Widerstands-Sensorsignals im Fall eines betragsmäßig konstanten Kompensations-Drehfeldes, und

Fig. 6 das Sensor-Ausgangssignal eines begrenzenden Differenzierers, welcher das Signal gemäß Fig. 5 als Eingangssignal erhält.

In Fig. 1 ist ein GMR-Sensorelement 1 zusammen mit einer Isolierung 2 auf einem Substrat 3 angeordnet. Auf die Isolierung 2 ist ein als Kompensationsfeldstreifen dienender Stromleiter 4 aufgebracht. Das GMR-Sensorelement 1 wird von einem zu bestimmenden Magnetfeld M, welches mittels dreier paralleler Pfeile symbolisiert ist, beaufschlagt. Über einen entsprechenden Stromfluß durch den Kompensationsfeldstreifen 4 wird ein magnetisches Kompensationsfeld erzeugt, welches richtungsmäßig dem zu bestimmenden Magnetfeld M entgegengesetzt ist.

Der Stromfluß durch den Kompensationsfeldstreifen 4 wird mittels eines von einem Digitalzähler 6 beaufschlagbaren Digital/Analog-Wandlers 7 gesteuert. Der Digitalzähler 6 wird seinerseits mittels eines Taktlers 8 getaktet betrieben. Der Stromverlauf wird hierbei mit Hilfe der durch den Taktler erzeugten Taktfrequenz in dem Digitalzähler hochgezählt und mittels des Digital/Analog-Wandlers 7 in einen zeitlich veränderlichen analogen Strom umgewandelt. Das um den Kompensationsfeldstreifen 4 herum erzeugte Magnetfeld (Kompensationsfeld) ist demnach, entsprechend dem zeitlich veränderlichen Strom, ebenfalls zwischen einem Minimum und einem Maximum zeitlich veränderlich. Das heißt, bei geeigneter Wahl des maximalen bzw. minimalen Stromes durch den Kompensationsfeldstreifen 4 ist gewährleistet, daß zu einem bestimmten definierten Zeitpunkt das mittels des Stromflusses durch den Kompensationsfeldstreifen 4 erzeugte magnetische Kompensationsfeld das zu

messende magnetische Feld vollständig kompensiert, d. h. sich ein resultierendes magnetisches Gesamtfeld H von Null ergibt. Zu diesem Zeitpunkt (resultierendes magnetisches Gesamtfeld H gleich Null) ist der Widerstandswert  $R_{\text{Sensor}}$  des GMR-Sensorelements maximal, wie in Fig. 2 schematisch dargestellt ist.

Zur Ermittlung dieses Zeitpunktes wird das Widerstandssignal  $R_{\text{Sensor}}$  oder ein dem Widerstandssignal  $R_{\text{Sensor}}$  des GMR-Sensorelements 1 bzw. der GMR-Sensorschicht zuordenbares Signal, beispielsweise dem Widerstandssignal proportionale Strom- bzw. Spannungswerte, auf ein Differenzierglied 5 gegeben, welches im Falle des Erreichens des Maximums des Widerstandssignals von einem H-Pegel auf einen L-Pegel springt, wie dies in Fig. 3 schematisch dargestellt ist. Der Zeitpunkt des Vorzeichenwechsels wird einem Triggerelement 9 mittels eines entsprechenden Signals mitgeteilt, welcher den Stand des Digitalzählers zu diesem bestimmten Zeitpunkt feststellt und in einem Digitalspeicher speichert. Da der Zählerstand des Digitalzählers eindeutig einem Strom durch den Kompensationsfeldstreifen 4 zuordenbar ist, welcher seinerseits einem Kompensationsfeld einer bestimmten Größe entspricht, ist das zu messende Magnetfeld, welches betragsmäßig dem Kompensationsfeld entspricht, jedoch die entgegengesetzte Richtung aufweist, bestimmbar.

Im Falle eines kombinierten Feldstärke- und 360°-Winkelsensors müssen zwei um 90° verschobene Sinusströme zur Erzeugung eines Kompensationsfeldes moduliert werden. Eine Anordnung zweier zu diesem Zwecke senkrecht zueinander verlaufender Kompensationsfeldstreifen 4a, 4b ist in Fig. 4 dargestellt. Man erkennt in der explodierten perspektivischen Darstellung der Fig. 4 zwischen den Kompensationsfeldstreifen 4a, 4b ein mäanderförmig ausgebildetes GMR-Element 1 sowie die dieses Element umgebende Isolierung 2. Durch entsprechende Modulierung der durch die Kompensationsfeldstreifen 4a, 4b fließenden Ströme ist ein in Betrag und Richtung veränderliches Kompensationsfeld erzeugbar. Die Auswertung des Kompensationsfeldes bzw. des sich zusammen mit einem zu messenden magnetischen Feld ergebenden Gesamtfeldes erfolgt analog zu der unter Bezugnahme auf Fig. 1 beschriebenen Verfahrensweise.

Für den Fall, daß lediglich der Winkel eines zu bestimmenden äußeren Magnetfeldes bestimmt werden soll, ist ein unmoduliertes magnetisches Drehfeld, welches in Abständen von 180° einen Vorzeichenwechsel der abgeleiteten Sensor-Widerstandsfunktion hervorruft, ausreichend. Es ist hierzu nicht notwendig, daß der Betrag des magnetischen Drehfeldes dem Betrag des zu bestimmenden äußeren Magnetfeldes entspricht. Dies sei anhand der Fig. 5 und 6 näher erläutert: In Fig. 5 seien mit E1 und E2 maximale bzw. minimale Widerstandswerte des GMR-Sensorelements bezeichnet, welche auftreten, wenn das Kompensationsfeld betragsmäßig nicht genau dem zu messenden Feld entspricht. Der Arbeitsbereich des GMR-Sensorelements ist mittels der fett eingezeichneten Kurve zwischen den Punkten E1, E2 dargestellt. Man erkennt beispielsweise, daß, da keine vollständige gegenseitige Aufhebung der Magnetfelder möglich ist, das absolute Widerstandsmaximum, welches bei einer Gesamtmagnetfeldstärke H von Null auftreten würde, hier nicht erreicht wird. Der Winkelbereich, welcher durch die Punkte E1 und E2 abgedeckt wird, entspricht hierbei 180°, wie dies in Fig. 6 eingezeichnet ist. Im Falle einer monotonen Drehung des Kompensationsfeldes ergibt sich eine Änderung des Widerstandssignals des Sensorelements 1 zwischen den Werten E1 und E2 (Hin- und Herbewegung). Bei Erreichen der Punkte E1 bzw. E2 kommt es, analog zu dem bereits unter Bezugnahme auf Fig. 1 beschriebenen Fall, zu einer Vorzeichenänderung der Ableitung des Wider-

standssignals, welche wiederum durch eine Differenzierer festgestellt werden kann, wie dies in Fig. 6 dargestellt ist. Die Zeitpunkte der jeweiligen Sprünge des Differenzierersignals erfolgen hierbei gleichzeitig mit einer parallel bzw. antiparallelen Ausrichtung des Kompensationsfeldes bezüglich des zu messenden Feldes. Wird nun beispielsweise die Winkelbewegung des Kompensationsfeldes digital gesteuert, ist es in analoger Weise möglich, ein zudem Zeitpunkt eines Signalsprungs des Differenzierers vorliegendes Winkelsignal zu erfassen, zu speichern und auszugeben.

Es sei angemerkt, daß die durch die Kompensationsfeldstreifen 4, 4a, 4b durchfließenden Ströme im Falle des Auftretens von Schwierigkeiten beispielsweise aufgrund von einer zu starken Erwärmung bei als Dünnschichtleitern ausgebildeten GMR-Elementen als gepulste Ströme ausgebildet sein können.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Bestimmung von Betrag und/oder Richtung eines Magnetfeldes mit folgenden Schritten:
  - Beaufschlagung wenigstens eines magnetoresistiven Sensors (1), insbesondere eines GMR-Sensorelements, mit einem zu bestimmenden ersten Magnetfeld,
  - Beaufschlagung des wenigstens einen magnetoresistiven Sensors (1) mit einem zeitlich veränderlichen magnetischen Kompensationsfeld,
  - Bestimmung eines Zeitpunktes wenigstens eines Extremums eines von einem aus dem zu bestimmenden Magnetfeld und dem Kompensationsfeld zusammengesetzten magnetischen Gesamtfeld abhängigen Sensorsignales des magnetoresistiven Sensors, und
  - Bestimmung von Betrag und/oder Richtung des zu bestimmenden Magnetfeldes auf der Grundlage von Betrag und/oder Richtung des Kompensationsfeldes an dem wenigstens einen Zeitpunkt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der wenigstens eine Zeitpunkt mittels einer Feststellung eines Vorzeichenwechsels der zeitlichen Ableitung des Sensorsignals des magnetoresistiven Sensors (1) bestimmt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Feststellung des Vorzeichenwechsels der zeitlichen Ableitung ein in Sättigung gesteuertes Differenzierglied (5) verwendet wird, dessen Ausgangssignal bei Feststellung eines Extremums des Sensorsignals des magnetoresistiven Sensors (1) von einem ersten auf einen zweiten Pegel springt.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein zur Erzeugung des Kompensationsfeldes verwendbarer veränderlicher Strom mittels eines Digitalzählers (6) und eines mit diesem in Wirkverbindung stehenden Digital/Analog-Wandlers (7) erzeugt wird.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung des zu dem wenigstens einen Zeitpunkt anliegenden Kompensationsfeldes durch Feststellung des Zählerstandes des Digitalzählers (6) an dem wenigstens einen Zeitpunkt erfolgt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Bestimmung des zu dem wenigstens einen Zeitpunkt anliegenden Kompensationsfeldes durch Feststellung der Fläche unter einer Rechteckspannung am Ausgang des Differenziergliedes (5) erfolgt.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Falle einer Bestimmung des Betrages eines Magnetfeldes bekannter Richtung am Ort des magnetoresistiven Sensors (1) ein dem zu bestimmenden Magnetfeld entgegengesetzt gerichtetes, zeitlich veränderliches Kompensationsfeld erzeugt wird.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Falle einer Bestimmung einer Richtung eines Magnetfeldes bekannten oder unbekannten Betrages am Ort des magnetoresistiven Sensors (1) ein magnetisches Drehfeld erzeugt wird.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Falle einer Bestimmung eines Betrages und einer Richtung eines Magnetfeldes am Ort des magnetoresistiven Sensors (1) ein betragsmäßig modulierbares magnetisches Drehfeld erzeugt wird.

10. Vorrichtung zur Bestimmung von Betrag und/oder Richtung eines Magnetfeldes, mit Mitteln zur Beaufschlagung wenigstens eines magnetoresistiven Sensorelements (1), insbesondere eines GMR-Sensorelements, mit einem zu bestimmenden ersten Magnetfeld, Mitteln (4, 6, 7) zur Beaufschlagung des wenigstens einen magnetoresistiven Sensors (1) mit einem zeitlich veränderlichen magnetischen Kompensationsfeld, Mitteln zur Bestimmung wenigstens eines Zeitpunktes eines Extremums der zeitlichen Ableitung eines aus dem zu bestimmenden Magnetfeld und dem Kompensationsfeld zusammengesetzten magnetischen Gesamtfeldes, und Mitteln (9) zur Bestimmung von Betrag und/oder Richtung des zu bestimmenden Magnetfeldes auf der Grundlage von Betrag und/oder Richtung des Kompensationsfeldes an dem wenigstens einen Zeitpunkt.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

FIG. 1

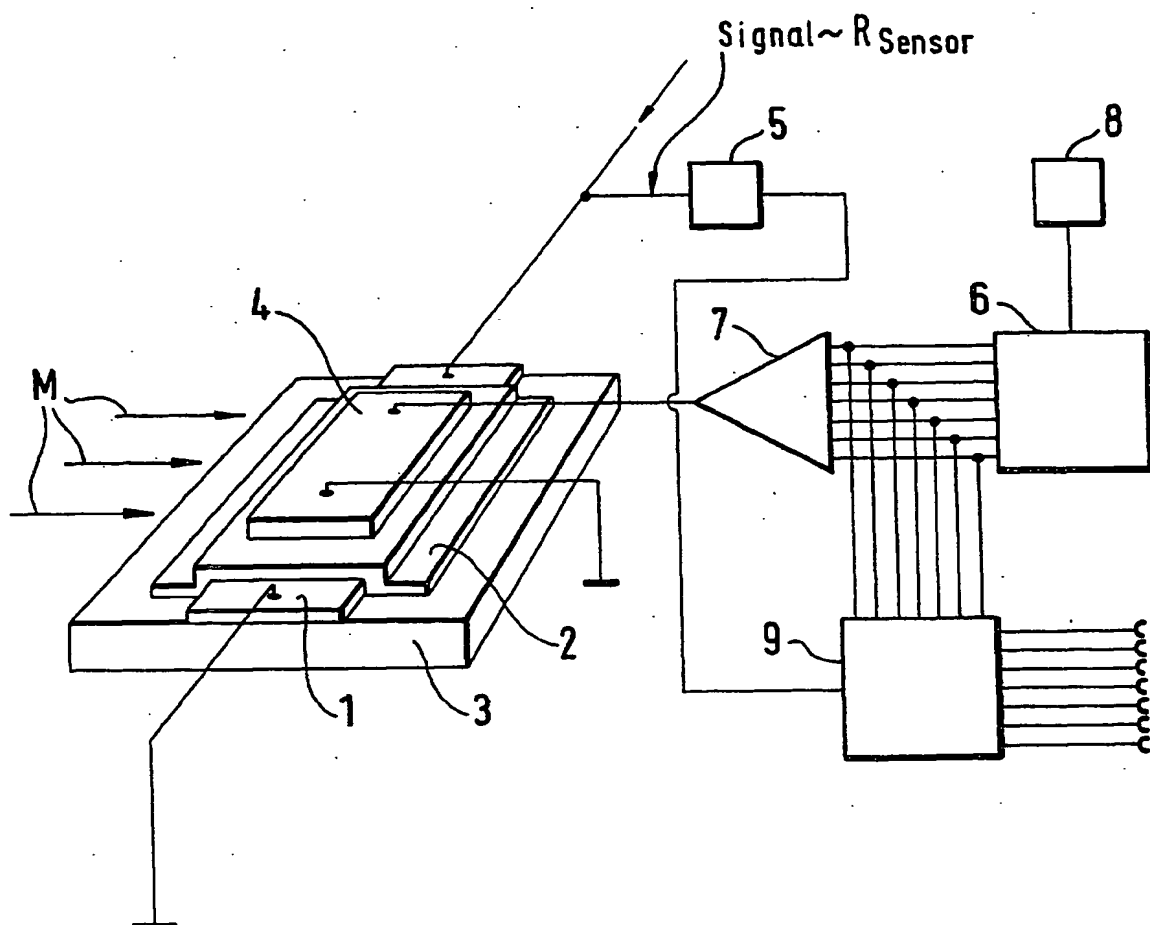


FIG. 2

Sensorsignal

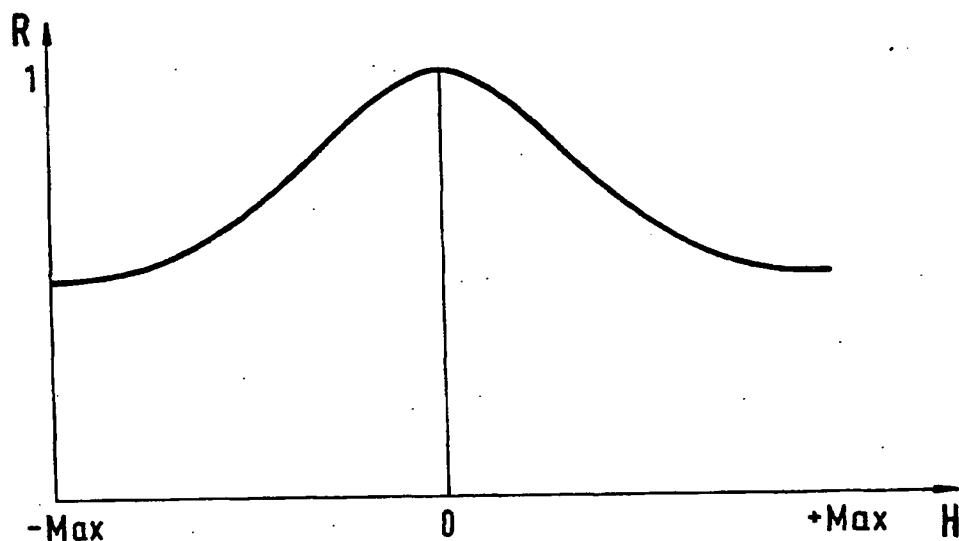


FIG. 3

Sensorsignal nach begrenzendem Differenzierer

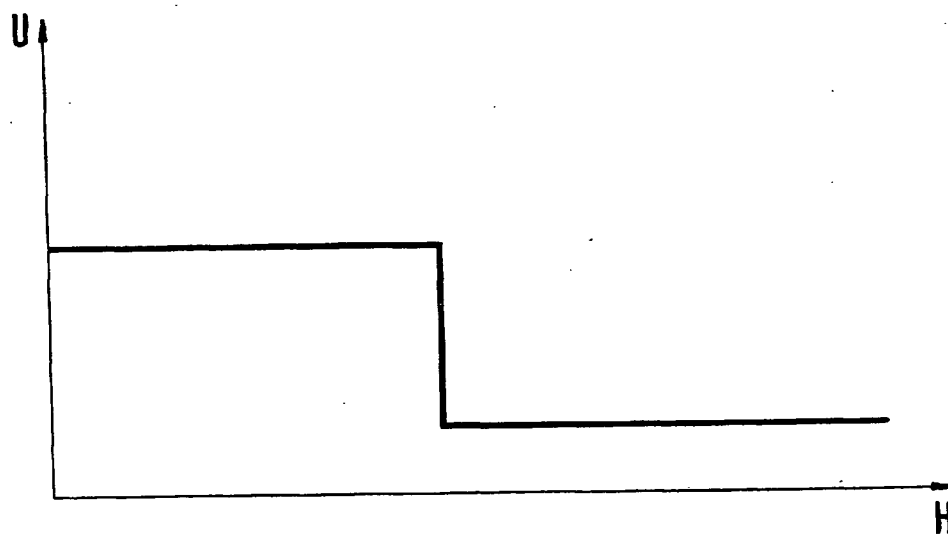


FIG. 4

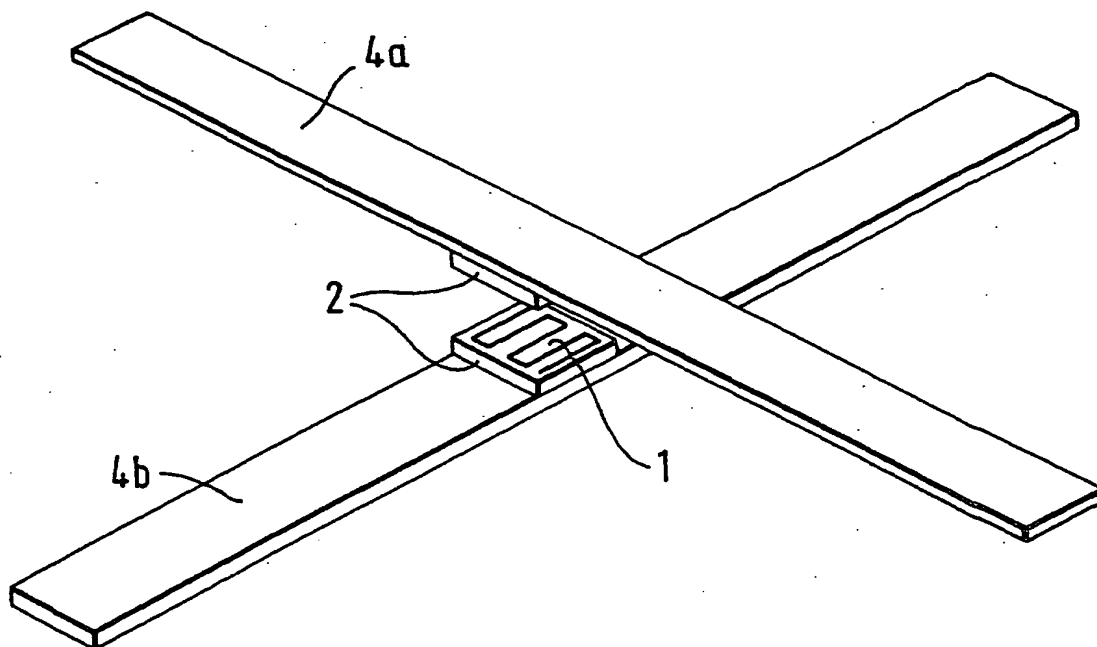


FIG. 5

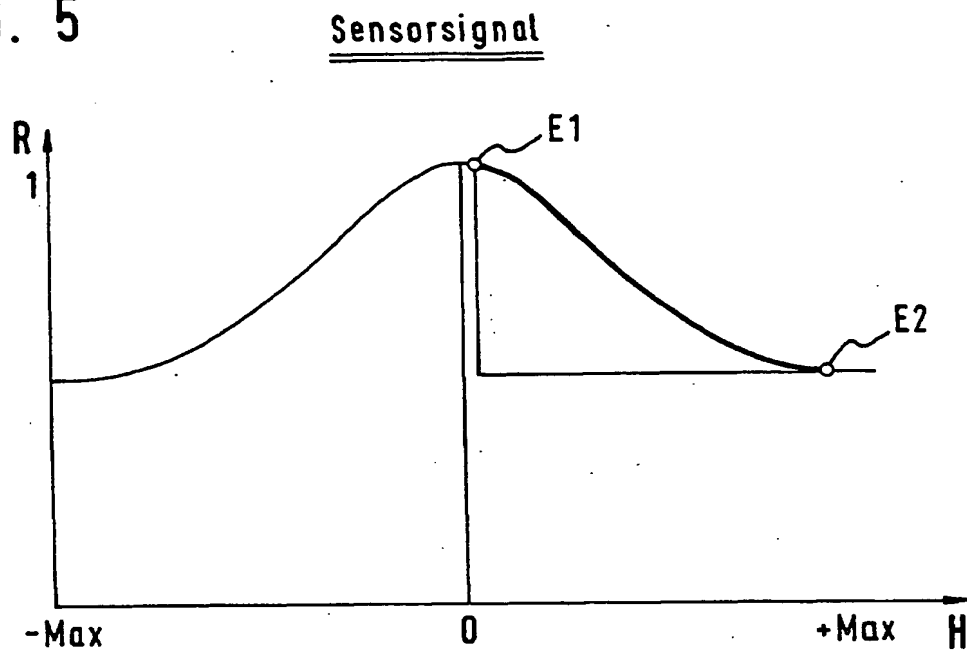


FIG. 6

